

# Олимпиада «Физтех» по физике 2022

Класс 10

Вариант 10-02

Шифр

(заполняется секретарём)

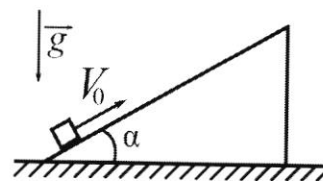
1. Фейерверк массой  $m = 1 \text{ кг}$  стартует после мгновенной работы двигателя с горизонтальной поверхности, летит вертикально вверх и через  $T = 3 \text{ с}$  разрывается в высшей точке траектории на множество осколков, которые летят во всевозможных направлениях с одинаковыми по величине скоростями. Суммарная кинетическая энергия осколков сразу после взрыва  $K = 1800 \text{ Дж}$ . На землю осколки падают в течение  $\tau = 10 \text{ с}$ .

1) На какой высоте  $H$  взорвался фейерверк?

2) В течение какого промежутка времени  $\tau$  осколки будут падать на землю?

Ускорение свободного падения  $g = 10 \text{ м/с}^2$ . Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

2. На гладкой горизонтальной поверхности расположен клин. Гладкая наклонная поверхность клина образует с горизонтом угол  $\alpha$  такой, что  $\cos \alpha = 0,6$ . Шайбе, находящейся на наклонной поверхности клина, сообщают некоторую начальную скорость  $V_0$  (см. рис.), далее шайба безотрывно скользит по клину и поднимается на максимальную высоту



$H = 0,2 \text{ м}$ . Масса клина в два раза больше массы шайбы. Ускорение свободного падения  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

1) Найдите начальную скорость  $V_0$  шайбы.

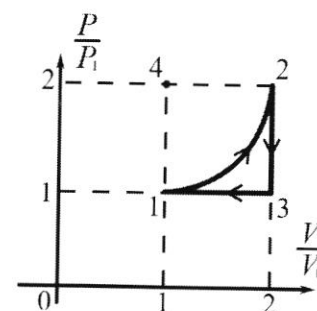
2) Найдите скорость  $V$  клина, в тот момент, когда шайба вернется в точку старта на клине. Массы шайбы и клина одинаковы.

3. По внутренней поверхности проволочной сферы равномерно движется модель автомобиля. Движение происходит в горизонтальной плоскости большого круга. Сила, с которой модель действует на сферу, в два раза больше силы тяжести, действующей на модель. Модель приводится в движение двигателем. Силу сопротивления считайте пренебрежимо малой.

1) Найдите ускорение  $a$  модели.

2) Вычислите минимальную допустимую скорость  $V_{\text{MIN}}$  равномерного движения модели по окружности в плоскости большого круга, составляющей с горизонтом угол  $\alpha = 45^\circ$ . Коэффициент трения скольжения шин по поверхности сферы  $\mu = 0,8$ , радиус сферы  $R = 1 \text{ м}$ . Ускорение свободного падения  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

4. Один моль одноатомного идеального газа участвует в цикле 1-2-3-1 (см. рис.), участок 1-2 – дуга окружности с центром в точке 4. Считать заданными давление  $P_1$  и объём  $V_1$ .



1) Какое количество  $Q$  теплоты подведено к газу в процессе расширения?

2) Найдите работу  $A$  газа за цикл.

3) Найдите КПД  $\eta$  цикла.

5. Заряд  $Q > 0$  однородно распределен по сфере радиуса  $R$ . В первом опыте на расстоянии  $3R$  от центра сферы помещают небольшой по размерам шарик с зарядом  $q > 0$ .

1) Найдите силу  $F_1$ , действующую на заряженный шарик.

Во втором опыте заряд  $q$  однородно распределяют по стержню длины  $R$ , стержень помещают на прямой, проходящей через центр заряженной сферы. Ближайшая к центру сферы точка стержня находится на расстоянии  $3R$  от центра.

2) Найдите силу  $F_2$ , с которой заряженный стержень действует на заряженную сферу.

Все силы, кроме кулоновских, считайте пренебрежимо малыми. Коэффициент пропорциональности в законе Кулона  $k$ . Явлениями поляризации пренебрегите.

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 1.

$$m = 1 \text{ кг}$$

$$T = 3 \text{ с}$$

$$E_{\Sigma} = K = 1800 \text{ Дж}$$

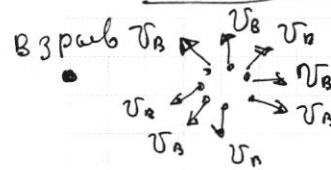
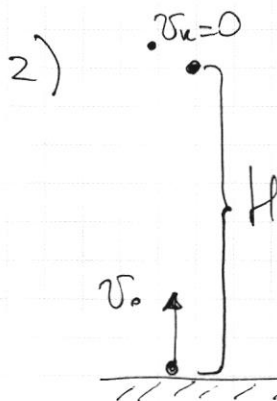
$$\tau = 10 \text{ с}$$

считаю, что  
 $\tau$  - время от падения  
взрыва ракеты первого  
до падения  
послед. осколка.

$$2) t - ?$$

$$1) v - ?$$

1) Т.к. скорость в высшей точке  
пути равна 0 и работа  
сил мгновенна  $\Rightarrow H = \frac{gT^2}{2} = 45 \text{ м}$



$v_B$  - скорость  
осколка сразу  
после взрыва.

Если от взрыва до падения последнего осколка прошло  
 $\tau$ , рассмотрим движение осколка, который полетел  
верт. вниз и того, который полетел верт. вверх.

$$\text{Вниз: } H = v_B t_B + \frac{g t_B^2}{2}$$

$$H = v_B t_H + \frac{g t_H^2}{2}$$

$$t_H - t_B = \tau$$

$t_B$  - время падения  
осколка, полетевш.  
вниз  
 $t_H$  - время падения  
осколка, полетевш.  
вверх

~~$$v_B t_B + \frac{g t_B^2}{2} = v_B t_H + \frac{g t_H^2}{2}$$

$$v_B (t_H - t_B) = \frac{g}{2} (t_H^2 - t_B^2)$$

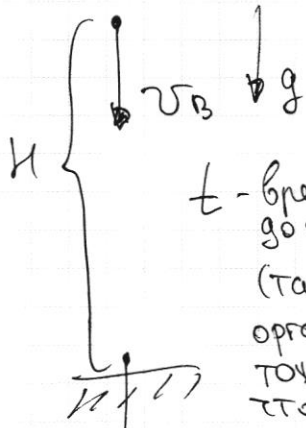
$$v_B \tau = \frac{g}{2} (t_H + t_B) \tau$$~~

~~$$\frac{m v_B^2}{2} = m g H$$

$$v_B^2 = \frac{2K}{m} \Rightarrow v_B = 60 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$~~

$$v_B (t_H + t_B) = \frac{g}{2} (t_H^2 - t_B^2) \Rightarrow v_B = \frac{g}{2} \tau \quad (50 \frac{\text{м}}{\text{с}})$$

3) Рассмотрим движение ооо лна, пенетвиш.  
вниз



$t$  - время от взрыва до паг. первого.  
(так сказали организаторы!  
точе душко, что направа)

$v_{KB}$  - скорость его паг. перед. приземл.

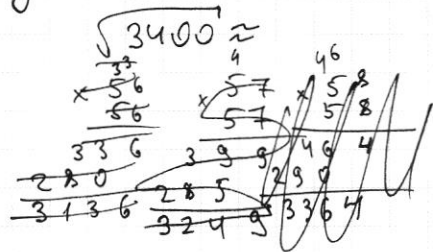
~~$v_B t + g \frac{t^2}{2} = H$~~

$$v_B t + \frac{g t^2}{2} = H$$

$$\frac{g}{2} t^2 + \frac{g}{2} \tau t - H = 0$$

$$D = \left(\frac{g}{2} \tau\right)^2 + \left(H \cdot \frac{g}{2}\right) 4 = 2500 + 900 = 3400$$

$$t = \frac{\frac{g}{2} \tau \pm \sqrt{D}}{g} = \frac{-50 + 58}{10} = 0,4 \text{ c}$$



Ответ:  
1)  $H = 45 \text{ м}$   
2)  $t = 0,4 \text{ c}$

Условие противоречит себе, если считать через  $\tau$ , то  $v_B = 50 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , а если через энергию, то  $v_B = 60 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Задача 3.

$m$  - масса шара

$F$  - сила, с которой шар действует на сферу

$$F = 2mg$$

1)  $a = ?$

2)  $\beta = 45^\circ$

$\mu = 0,8$

$R = 1 \text{ м}$

$v_{\text{кин}} = ?$

23И:

~~$x: -N \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = -ma$~~

~~$y: N \sin \alpha - mg = 0$~~

~~$N = \frac{mg}{\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}} = F = 2mg \Rightarrow \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} = \frac{1}{2}$~~   
 ~~$\frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} = \frac{\sqrt{3}}{2}$~~

~~$ma = 2mg \cdot \sin \alpha = mg \sqrt{3}$~~

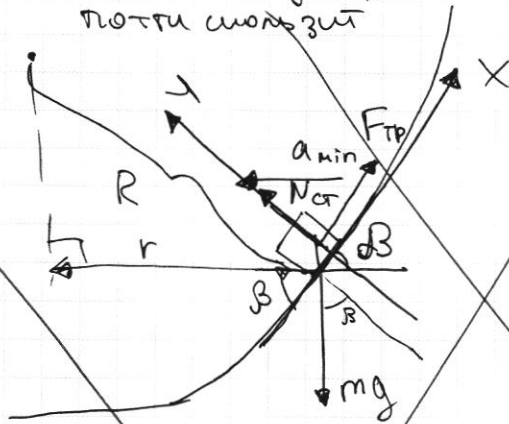
~~$a = g \sqrt{3}$   
 $a = 17,3 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$~~

2) Т.к.  $v = v_{min}$   
 $a = a_{min} \Rightarrow F_{TP} \approx \mu N$

крайний случай,  
 по сути условие

$$r = R \sin \beta$$

Уг.  
 наклона =  $\beta$



Т.к.  $\beta = 45^\circ$   
 $\sin \beta = \cos \beta$

234:

$$y: N \cos \beta - mg \cos \beta = m a_{min} \sin \beta$$

$$x: F_{TP} - mg \sin \beta = m a_{min} \cos \beta$$

$$N \cos \beta = m a_{min} \sin \beta + mg \cos \beta$$

$$\mu m a_{min} \sin \beta + \mu mg \cos \beta - mg \sin \beta = m a_{min} \cos \beta$$

$$a_{min} (\mu \cos \beta + \mu \sin \beta) = mg \cos \beta + g \sin \beta$$

$$a_{min} = \frac{g - g\mu}{1 + \mu} = \frac{2}{1,8}$$

$$\frac{v_{min}^2}{R \sin \beta} = a_{min} \Rightarrow v_{min} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2}{1,8 \cdot \sqrt{2}}}$$

~~$$v_{min} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2}{1,8 \cdot \sqrt{2}}}$$~~

~~2018~~  
~~2014~~

~~1300~~

$$\times \frac{180}{8} = \frac{144}{4}$$

~~$$v_{min} = \sqrt{18 \cdot \sqrt{2}}$$~~

$$v_{min} = \sqrt{a_{min} \cdot R \sin \beta}$$

$$v_{min} = \sqrt{\frac{g - g\mu}{1 + \mu} \cdot R \sin \beta} =$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot \sqrt{2}}{1,8 \cdot 2}} \approx 0,9 \frac{m}{c}$$

$$\frac{\sqrt{2}}{1,8} \approx 0,8$$

$$\sqrt{2} = 1,41$$

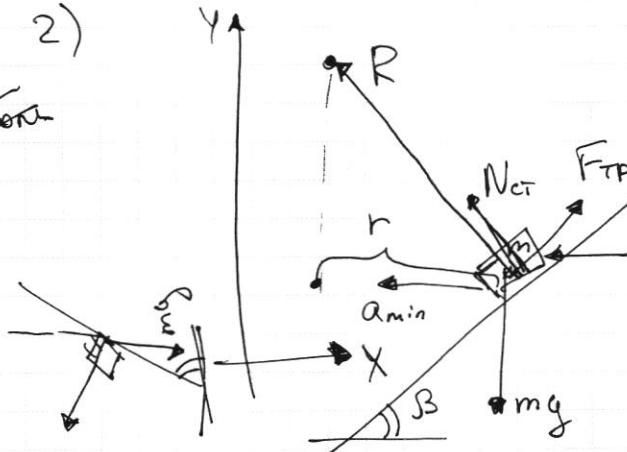
~~$$1,41 \cdot 0,8$$~~

Ответ:

- 1)  $17,3 \frac{m}{c}$
- 2)  $0,9 \frac{m}{c}$

### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

~~№4~~ 2)  
 ~~$\vec{v} = \vec{v}_{\text{центр}}$~~   
 ~~$\beta$~~   
 ~~$\frac{v}{r}$~~



$r$  — радиус окружности, по которой вращаются.

$$r = R \cdot \sin \beta$$

Если  $v_{\text{min}}$ , тогда и  $a$  должно быть  $a_{\text{min}}$

23И:

$$x: -N_{ct} \cdot \sin \beta + F_{тр} \cos \beta = -m a_{\text{min}}$$

$$y: -mg + N_{ct} \cos \beta + F_{тр} \sin \beta = 0$$

$F_{тр} = \mu N_{ct}$   
на грани покоя и скольжения.

$$N_{ct} = \frac{mg - F_{тр} \sin \beta}{\cos \beta}$$

$$F_{тр} \cos \beta + m a_{\text{min}} = N_{ct} \sin \beta$$

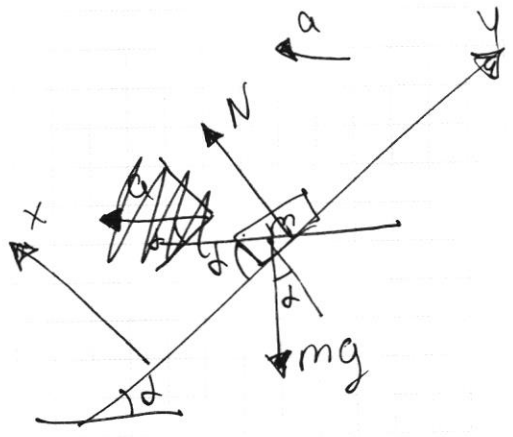
$$\mu \frac{mg - F_{тр} \sin \beta}{\cos \beta} \cos \beta + m a_{\text{min}}$$

$$mg = N \sin \alpha$$

$$m a = N \cos \alpha$$

$$mg = 2 m g \sin \alpha$$

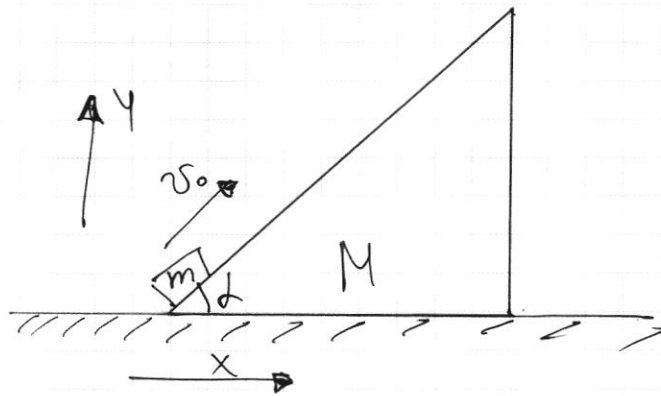
$$\sin \alpha = \frac{1}{2}$$



~~$2g = mg \cos \alpha + a \sin \alpha$~~   
 ~~$2g = g \cos \alpha + g \sin \alpha$~~   
 $a = ?$   
 $N = ?$   
 $N = 2 mg = mg \cos \alpha + m a \sin \alpha$   
 $mg \sin \alpha = m a \cos \alpha$   
 ~~$a = g \sin \alpha$~~   
 $a = g \tan \alpha$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$\sqrt{2}$   
 $\cos \alpha = 0,6$   
 $v_0$   
 $H = 0,2 \text{ м}$   
 $M = 2 \text{ м}$   
масса иллка      масса шайбы



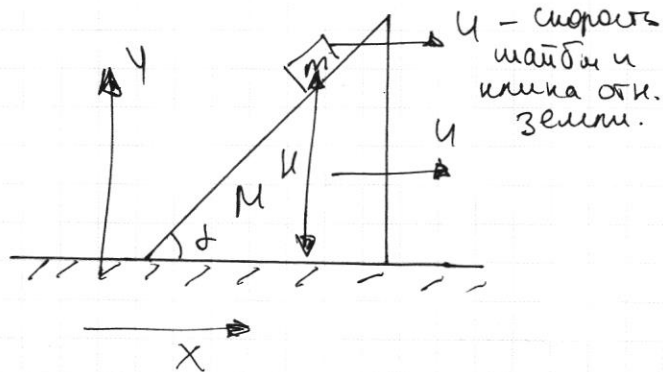
1)  $v_0$  - ?  
 2)  $v$  - ?

1) В верхней точке подъема шайба будет неподвижна относительно иллка.

2) В.С. Угла "m+M":

$$x: m v_0 \cos \alpha = (M+m) U$$

$$U = \frac{v_0 \cos \alpha}{3}$$



3) З.С.Э глас "m+M":

$$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{(m+M) U^2}{2} + m g H \quad | \cdot 2$$

$$m v_0^2 = 3m \left( \frac{v_0 \cos \alpha}{3} \right)^2 + 2 m g H$$

$$v_0^2 = \frac{(v_0 \cos \alpha)^2}{3} + 2 g H$$

$$v_0^2 - \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{3} = 2 g H \Rightarrow v_0^2 = \frac{2 g H}{1 - \frac{\cos^2 \alpha}{3}}$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{2 g H}{1 - \frac{\cos^2 \alpha}{3}}} = \sqrt{\frac{4}{1 - \frac{3}{25}}}$$

$$v_0 = \frac{2}{\sqrt{\frac{22}{25}}} = \frac{10}{\sqrt{22}} \frac{\text{м}}{\text{с}} = 2,1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

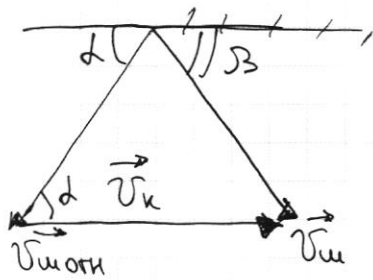
~~100/47~~  
~~100/47~~  
 98/21  
 40

~~222~~  
~~4/8 x 4/7~~  
~~3/8 4/32 9~~  
~~1/8 2/4 1/8~~  
~~2/4 2/4~~

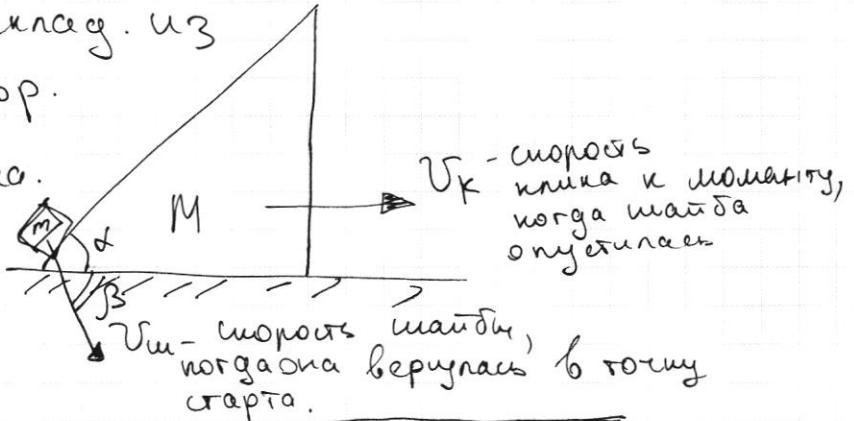
4) По З.С.С.

скорость шайбы складывается из скорости клина и скор.

шайбы относ. клина.



— скорость шайбы отн. клина.



$v_k$  — скорость клина к моменту, когда шайба опустится

$v_ш$  — скорость шайбы, когда она вернется в точку старта.

$$v_ш = \sqrt{v_k^2 + v_{шк}^2}$$

5) З.С.У где „ $m+M$ “:

x:  ~~$(m+M)v_0 \cos \alpha = (m+M)v_k + m v_ш \cos \beta$~~

$$m v_0 \cos \alpha = 2 m v_k + m v_ш \cos \beta$$

$$v_0 \sin \alpha = v_ш \sin \beta$$

~~$m v_ш \sin \beta =$~~   
 ~~$= v_0 \sin \alpha$~~

6) З.С.Э где „ $m+M$ “

~~$\frac{3m v_0^2}{2} = m g h$~~

$$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{2m v_k^2}{2} + \frac{m v_ш^2}{2}$$

$$v_0^2 = 2 v_k^2 + v_ш^2$$

$$v_0 \cos \alpha = 2 v_k + v_ш \cos \beta$$

$$v_0 \sin \alpha = v_ш \sin \beta$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

4) В (как и в процессе подъёма) процессе скатывания майба будет действовать на клин постоянная сила  $N \Rightarrow$  клин будет иметь  $a_k = \text{const} \Rightarrow$  можем рассмотреть движение клина, как равноускоренное. Сначала рассмотрим

майбу

$\psi: H = \frac{gt^2}{2}$ , где  $t$  — время подъёма майбы на  $H$ .

$$t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

Клин за  $t$  ускорится на  $v_0 \Rightarrow a_k = \frac{v_0}{t} = \frac{v_0}{\sqrt{\frac{2H}{g}}}$ .

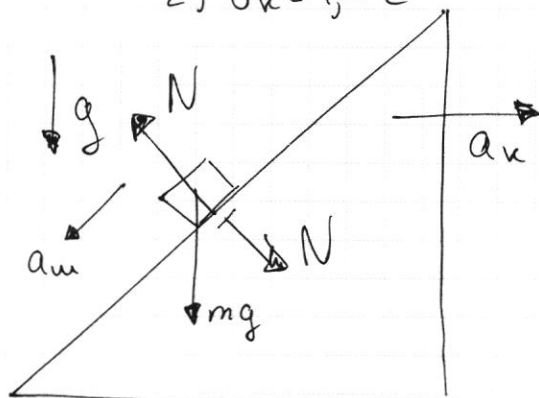
Если это же ускорение будет действовать еще время  $t$  (время до спуска майбы), он получит  $v_k$ .

$$\underline{v_k = a_k t + v_0 = 2v_0 = 4,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}}$$

Ответ:

1)  $v_0 = 2,1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

2)  $v_k = 4,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

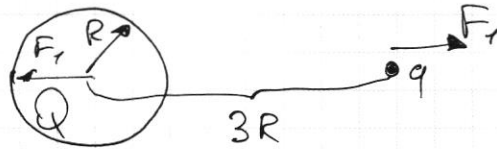




# Задача 5

$Q > 0$   
 $q > 0$   
 $3R$   
 $R$

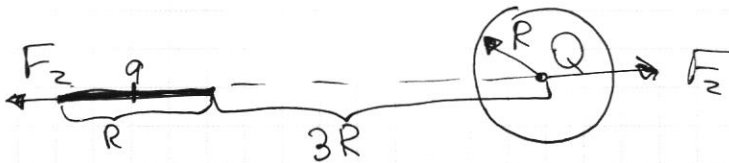
$$1) F_1 = \frac{kqQ}{(3R)^2} = k \frac{qQ}{9R^2}$$



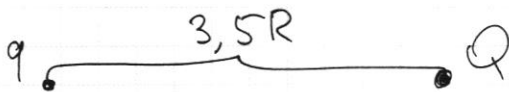
Ответ:

$$1) F_1 = k \frac{qQ}{9R^2}$$

2)



Т.к. заряды по сфере и стержню распределены равномерно, можно считать, что заряды сосредоточены в точке.



$$F_2 = k \frac{qQ}{3,5^2 R}$$

$$\begin{array}{r}
 2 \\
 \times 3,5 \\
 \hline
 175 \\
 105 \\
 \hline
 12,25
 \end{array}$$

Ответ:

$$1) F_1 = k \frac{qQ}{9R^2}$$

$$2) F_2 = k \frac{qQ}{12,25R^2}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 3

$$F = 2mg$$

1)  $a = ?$

2)  $v_{\min} = ?$

$\mu = 0,8$

$R = 1 \text{ м}$

$\alpha = 45^\circ$

1) Как показано из условия, в 1 случае не учитываем  $\mu, R, \alpha$ , даем после 2 вопроса.

23И:

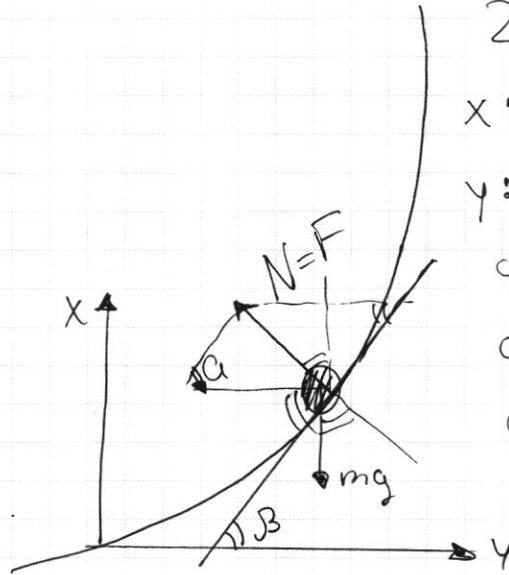
$$x: N \cdot \cos \beta = mg$$

$$y: N \cdot \sin \beta = ma$$

$$\cos \beta = \frac{1}{2}, \text{ т.к. } N = 2mg = F$$

$$a = 2g \cdot \sin \beta = 2g \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$a = g\sqrt{3} = 17,3 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$



2)

$$v = v_{\min} \Rightarrow a = a_{\min}$$

$$\sin \alpha = \cos \alpha = k = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$F_{\text{тр}} = \mu N_{\text{ст}}$ , почти падение (скольз)  
т.к.  $a$  должно быть  $a_{\max} \text{ или } \min$

23И:

$$x: N_{\text{ст}} - mgk = m a_{\min} k \Rightarrow N_{\text{ст}} = m a_{\min} k + mgk$$

$$y: F_{\text{тр}} = mgk = -m a_{\min} k$$

$$\mu m a_{\min} k + \mu mgk - mgk = -m a_{\min} k$$

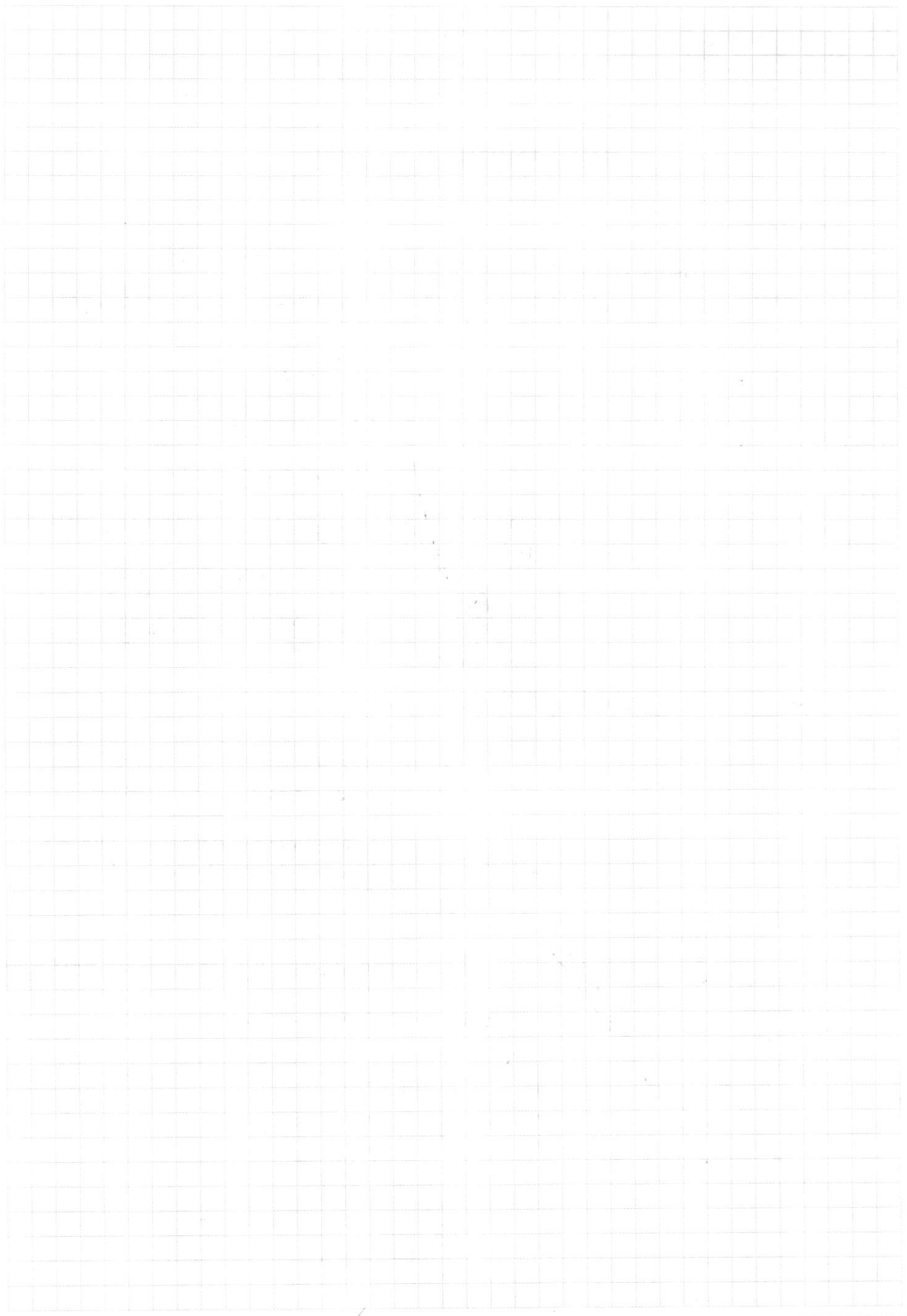
$$\mu a_{\min} + \mu g = g - a_{\min}$$

$$a_{\min} = \frac{g - \mu g}{1 + \mu} = \frac{v_{\min}^2}{Rk}$$

$$v_{\min} = \sqrt{\frac{g - \mu g}{1 + \mu} \cdot Rk} = \sqrt{\frac{g}{1,8} \cdot 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}} = 0,9 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Отвеч:

1)  $17,3 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$  2)  $0,9 \frac{\text{м}}{\text{с}}$



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №       
(Нумеровать только чистовики)

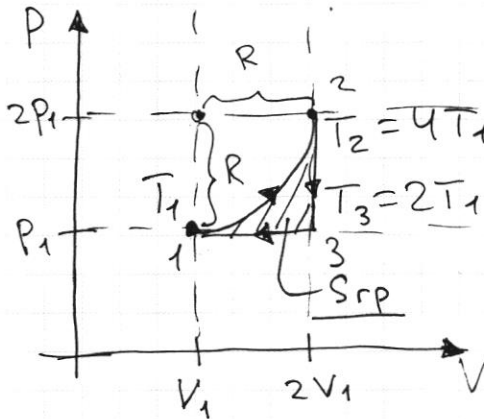
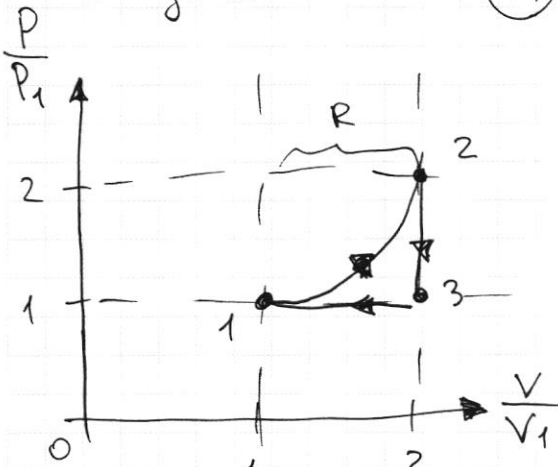
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 4.

(V<sub>1</sub>) (P<sub>1</sub>)

1) Q<sub>12</sub> - ? 2) A<sub>Σ</sub> - ?  
3) η - ?

ν = const



550 | 57  
- 513 | 0,96..  
-----  
370

Менгел.-Клар.:

1)  $p_1 V_1 = \nu R T_1 \Rightarrow T_2 = 4 T_1$   
 $4 p_1 V_1 = \nu R T_2$

~~2~~  $2 p_1 V_1 = \nu R T_3 \Rightarrow T_3 = 2 T_1$

2) Процесс 1-2 ÷ 3-1:

$A_{\Sigma} = S_{гр} = p_1 V_1 - \frac{\pi}{4} V_1 p_1$

$A_{\Sigma} = p_1 V_1 (1 - \frac{\pi}{4}) = \underline{0,215 p_1 V_1}$

3) Процесс 1-2:

$Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12}$

$A_{12} = p_1 V_1 + A_{\Sigma} = \underline{1,215 p_1 V_1}$

$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{9}{2} p_1 V_1 = 4,5 p_1 V_1$

$Q_{12} = 5,715 p_1 V_1$

$\eta = 1 - \frac{5,5}{5,715} = 0,04$

Ответ:

1)  $Q_{12} = 5,715 p_1 V_1$

2)  $A_{\Sigma} = 0,215 p_1 V_1$

3)  $\eta = 0,04 = 4\%$

4)  $\eta = 1 - \frac{Q_x}{Q_n}$

$Q_n = Q_{12}$

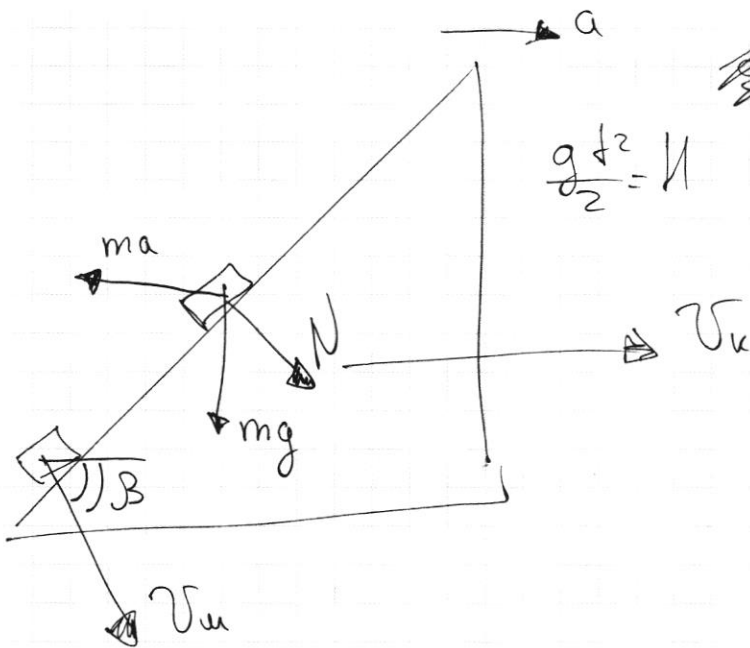
$Q_{23} = \frac{3}{2} \nu R (-2 T_1) = -3 p_1 V_1$

$Q_{31} = -p_1 V_1 + \frac{3}{2} \nu R (-T_1) = -\frac{5}{2} p_1 V_1$

$Q_x = -Q_{23} - Q_{31} = \frac{11}{2} p_1 V_1$

3. C. U.

~~$m \frac{v^2}{R}$~~



~~$g$~~   
 $\frac{g t^2}{2} = 11$

~~$g$~~   
 $t = \sqrt{\frac{2 \cdot 11}{g}}$   
0,4

0,04  
 $H = 0,2$

$$v_0^2 = v_u^2 + 2v_k^2$$

~~$v_0 \cos \alpha$~~

$$0,6 v_0 =$$